

BESTOCKUNG UND BESCHATTUNG

ERFASSUNG AN FLIESSGEWÄSSERN

Uferbestockungen haben neben der wichtigen Funktion der Beschattung und Abkühlung der Gewässer noch zahlreiche weitere wertvolle Funktionen. Eine schweizweite Bestandesübersicht der Bestockung bzw. Beschattung entlang der Bäche und Flüsse besteht derzeit noch nicht. Diese Informationslücke soll zukünftig mit geeigneten Methoden geschlossen werden.

Thilo Herold, BAFU*

Diego Tonolla, Forschungsgruppe Ökohydrologie, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen (IUNR), ZHAW und eQcharta GmbH

Johann Junghardt, Forschungsgruppe Geoinformatik, IUNR, ZHAW

Andreas Helbling; Markus Thommen, BAFU; Lena Ninck, Fischwerk

RÉSUMÉ

COLLECTE DE DONNÉES RELATIVES AU BOISEMENT ET À L'OMBRAGE DES COURS D'EAU

Hormis le fait de créer de l'ombrage et de refroidir les cours d'eau, le boisement des rives joue une multitude d'autres rôles importants. La qualité du boisement et de l'ombrage actuels des cours d'eau en Suisse reste cependant inconnue sur l'ensemble du territoire. Des analyses SIG, des relevés sur le terrain ainsi que des analyses multispectrales (vols de drone) ont été réalisés afin d'obtenir des informations sur la situation actuelle en matière de boisement et d'ombrage le long des cours d'eau suisses. Les vols de drone et relevés sur le terrain effectués simultanément à la même station de mesure ont permis de comparer les méthodes concernant la pertinence/qualité de la collecte de données sur l'ombrage.

Les relevés montrent que les analyses SIG ne permettent pas de déterminer l'ombrage de manière satisfaisante, alors que les analyses multispectrales semblent mieux se prêter à cette tâche. La capacité de calcul qu'elles nécessitent ne doit cependant pas être sous-estimée. Les analyses SIG et les vols de drone sont également adéquats afin d'émettre des affirmations sur le boisement basées sur des cartes ou des tableaux.

EINLEITUNG

Naturnahe Gewässerstrukturen mildern den teilweise letalen Effekt von Temperaturerhöhungen auf kälteliebende Wasserlebewesen. Gewässer mit vielfältigen Strukturen bieten bessere Rückzugsmöglichkeiten mit kühleren Bereichen, z.B. wegen der Beschattung, einströmendem Grundwasser oder einer besseren Vernetzung mit anderen Gewässern [1]. Ein wesentlicher Faktor, der diese positiven Effekte verstärkend unterstützt, bzw. die Erwärmung massgeblich hemmt, ist die Beschattung entlang der Gewässer [2-5]. Die Vegetation senkt den Hitzeindex auf die Gewässer, indem das Mikroklima über der Wasserfläche positiv verändert wird (z. B. tiefere Lufttemperatur, höhere relative Feuchtigkeit) und die direkte Sonneneinstrahlung abgefangen wird [6]. Eine weitere lokale Studie hat ausserdem gezeigt, dass bei einer 20 bis 40%-Beschattung Fischsterben verhindert werden kann und dass bei 80% die Wassertemperaturen im optimalen Bereich bleiben [7]. Die Beschattung und damit auch die Uferbestockung werden deshalb bei Revitalisierungen und beim Gewässerunterhalt, insbesondere bei kleinen Bächen und Flüssen, künftig an Bedeutung gewinnen. Die Erhaltung und das Anlegen von Uferbestockung stellen eine wirksame Klimaaaptationsmassnahme dar.

* Kontakt: thilo.herold@bafu.admin.ch

RESULTATE DER ERHEBUNG

GIS-ANALYSEN

Für die Herleitungen aus dem GIS wurden für die Beschattung zwei Methoden und für die Bestockung eine Methode geprüft. Das Vorgehen und die Ergebnisse sind in *Tabelle 1* zusammengefasst; Details sind in der Studie von *Fischwerk* [8] zu finden.

Beschattung

Bei der ersten Methode wurde die Sonneneinstrahlung (Globalstrahlung) auf das Gewässer mittels des *ArcGIS*-Tools *Solar Radiation* direkt berechnet. Bei der zweiten Methode wurde die Beschattung indirekt über den Einbezug verschiedener auf die Beschattung wirkender Parameter mithilfe des GIS näherungsweise berechnet. Die folgenden Parameter wurden dabei berücksichtigt: die über das Gewässer ragende Vegetation, die Topografie (Gelände, das auf das Gewässer Schatten wirft), die Bestockung sowie Gebäude am Ufer. Für die Uferbestockung und die Gebäude am Ufer wurden zudem die Objekthöhe, die Distanz zum Gewässer und die Exposition zum Gewässer berücksichtigt.

Auf der Basis der GIS-Analyse war die Herleitung einer Beschattungsgrösse nicht zufriedenstellend möglich. Beim Vergleich der Ergebnisse der Feldaufnahmen und der GIS-Analyse wiesen die beiden Ansätze keine ausreichend guten Korrelationen auf.

- Bei der direkten Methode (*Solar Radiation*) wird die Sonneneinstrahlung auf ein Gewässer im Bereich von Bestockung bei maximalem Sonnenstand überschätzt und bei tiefem Sonnenstand, vor allem im Bereich lichter Vegetation, unterschätzt. Die daraus resultierenden Fehler können nicht abgeschätzt werden.
- Bei der indirekten Methode (Berechnung Beschattungsparameter) wird die Beschattung aus verschiedenen Parametern berechnet, womit aber die reale Situation nicht abgebildet werden kann (Korrelation GIS-Analyse zu Feldaufnahmen: $0,27 < r < 0,48$).

Bestockung

Für die Herleitung der Bestockung wurde die Vegetationshöhe eines 15m breiten Uferstreifens auf beiden Seiten des Fliessgewässers verwendet. Die Daten wurden aus dem verifizierten [9] Vegetationshöhenmodell (VHM) der Eidg. Forschungs-

ZIELE UND METHODEN

Das Hauptziel der hier vorgestellten beiden Studien war es, die Beschattung und die Bestockung entlang der Fliessgewässer anhand einer GIS-Analyse (*Fischwerk* [8]) und mithilfe von Feldbegehungen und Drohnenaufnahmen (Multispektralanalysen, *ZHAW* [10]) herzuleiten.

Thema	Methode Verifizierungen erfolgreich Schweizweite Anwendung	Verwendete Datengrundlagen							Anwendung möglich / erfolgreich
		Gewässerfläche swissTLM3D	Gewässerlinie swissTLM3D*	Gebäude Footprint swissTLM3D	Gewässerbreite Öko- morphologiedaten*	Vegetationshöhen- modell VHM	Digitales Terrainmodell DTM	Digitales Ober- flächenmodell DOM	
Bestockung GIS (Fischwerk)	GIS-Analyse	x	x		x	x			Ja
	Verifizierung mit Orthofotos von map.geo.admin.ch für: – Glatt (Rheinsfelden- Hochfelden) – Wyna (Unterkulm-Reinach) – Boiron (Froideville-Morges)								Ja
	geplant 2019/2020								Ja
Beschattung GIS (Fischwerk)	a) direkte Methode: Mass der Sonneneinstrahlung (ArcGIS-Tool «Solar Radiation»)	x	x		x			x	(Ja)
	b) indirekte Methode: Schatten- wurf durch die Topografie, überhängende Vegetation, Uferbestockung und Gebäude am Ufer	x	x	x	x	x	x	x	(Ja)
	Verifizierung im Feld: – Glatt (Rheinsfelden- Hochfelden) – Wyna (Unterkulm-Reinach)								Nein
									Nein
Beschattung Multispektralanalysen (Drohnentflüge ZHAW)	– Drohnentflüge mit Multi- spektralkamera – photogrammetrische Aufbereitung der Daten (Pix4D Mapper) – Datenprozessierung/ Analyse: Oberflächenklassi- fikation (Wasser, Vegetation, Sediment), Vegetationsklas- sifikation, Schattendetektion (Schattenwurf, überhängende Vegetation)								Ja
	Verifizierung im Testgebiet der Glatt (Abschnitt Rheinsfelden)								Ja
	– hoher Aufwand, aber sehr präzise Ergebnisse – evtl. besser mit Aufnahmen aus Flugzeugen/Satelliten								(Ja)

* Kleine Gewässer sind nicht als Gewässerfläche im swissTLM3D vorhanden. Deren Flächen wurden daher aus den Ökomorphologiedaten (BAFU) und der Gewässerlinie des TLM hergeleitet

Tab. 1 Übersicht zu den verwendeten Methoden, GIS-Grundlagen sowie der Anwendbarkeit zur Erstellung einer schweizweiten Bestandesaufnahme.

anstalt WSL entnommen. Die Bestockung wurde definiert als Vegetation über 2,5m Höhe. Zur Übersicht wurde die Bestockung beider Uferstreifen je 25m Gewässerabschnitt ausgewertet. Die berechnete Bestockung wurde visuell (qualitativ) mit der

auf den Orthobildern (*map.geo.admin.ch*) sichtbaren Bestockung verglichen. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und visueller Analyse festgestellt. Die Resultate können kartografisch visualisiert werden (*Fig. 1*).

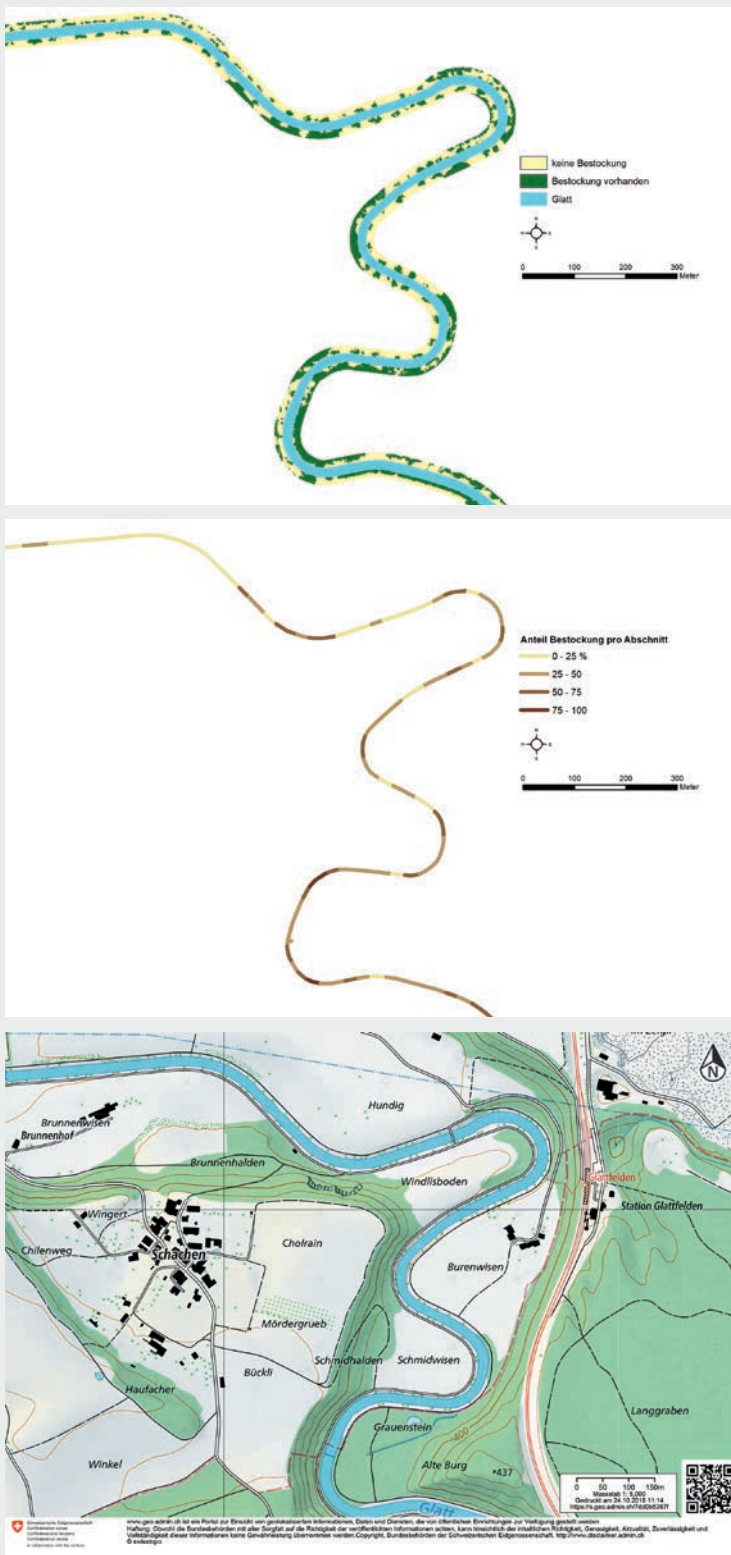


Fig. 1 Kartografische Visualisierung der Bestockungsanalysen (oberes und mittleres Bild) entlang der Glatt (unten). Die Berechnung erfolgte mittels GIS.
(©Landeskarte (unteres Bild); swisstopo)

- Die effektive Bestockung ist flächig dargestellt (Fig. 1, oben).
- Anteil der bestockten Uferfläche pro Gewässerabschnitt (in der vorliegenden Untersuchung 25 m) (Fig. 1, Mitte). Diese Darstellung gibt eine Übersicht und zeigt auf, wo entlang eines Fliessgewässers die Bestockung hoch oder niedrig ist.
- Figur 1 unten zeigt zum Vergleich die Situation gemäss Landeskarte.

Mit der evaluierten GIS-Analyse kann die Bestockung der Schweizer Fliessgewässer grossflächig bestimmt werden. Die entsprechenden Berechnungen sollen deshalb 2019/2020 für alle diejenigen Fliessgewässer vorgenommen werden, zu denen die benötigten Grundlagedaten vorhanden sind. Die Berechnungen werden für einheitliche Gewässerabschnittslängen von 25 m erstellt, damit verschiedene Gebiete miteinander verglichen und Bestockungslücken identifiziert werden können.

FELDBEGEHUNGEN

Beschattung

Die Erfassungen im Feld fanden an sonnigen Tagen zeitnah zum sommerlichen Sonnenhöchststand in zwei Testgebieten (Glatt, Wyna) statt. An jedem Feldtag wurde die jeweilige Strecke dreimal erhoben – am Morgen, Mittag und Abend. Die Beschattung der Gewässerfläche wurde durch Begehung des Gewässerabschnitts entlang dem Ufer erhoben. Pro Abschnitt wurde der Anteil der beschatteten Gewässerfläche in Klassen geschätzt. Bei der ersten Klasse «sonnig» werden weniger als 25% der Gewässerfläche beschattet, bei der zweiten Klasse «Schatten mit viel Lücken» 25 bis 50% der Fläche, bei der dritten Klasse «Schatten mit wenig Lücken» 50 bis 75% der Fläche. Bei der letzten Klasse «schattig» werden mehr als 75% der Fläche beschattet. Sobald sich die Beschattung wesentlich veränderte, wurde ein neuer Abschnitt gebildet, mit resultierenden Abschnittslängen zwischen 2 m und bis knapp 770 m. Die Abschnitte wurden mit einem GPS erfasst.

MULTISPEKTRALANALYSEN (DROHNEFLÜGE)

Beschattung

Das Ziel der Multispektralanalyse war es, die Beschattung eines Gewässers durch Drohnenflüge zu erheben und anhand des konkreten Beispiels an der Glatt (Fig. 1 im Leitartikel «Temperaturmonitoring Oberflächengewässer Schweiz», S. 37) die Möglichkeiten und Grenzen der Methode zur Erfassung der Beschattung zu evaluieren. Die hier vorgestellten Informationen beruhen auf dem ausführlich beschriebenen Bericht der ZHAW [10]. Die Flugbilder wurden mit einer MicaSense RedEdge™-Kamera (460–510 nm/545–575 nm/630–690 nm/820–860 nm/712–722 nm) an drei verschiedenen Tagen, jeweils vormittags, mittags und nachmittags, im Sommer 2018 aufgenommen (Tab. 1 im Artikel «Drohnen gestützte und terrestrische Wärmebildern zur Beurteilung der Fliessgewässer-Temperatur», S. 45). Die Kamera war in einer Wingtra One™ installiert. Eine Weiterverarbeitung der aufgenommenen Fotos erfolgte mit dem Pix4D-Mapper. Die Auflösung der generierten multispektralen Orthofotos lag bei ungefähr 10 cm.

Bei den Auswertungen der Orthofotos wurde zwischen zwei Arten von Schatten unterschieden (Tab. 2 und Fig. 2): (1) dem Bereich, der direkt senkrecht unter der überhängenden Vegetation liegt, sowie (2) den seitlichen Schattenwürfen durch die Bestockung oder durch die Topografie.

Um die Schatten auf den multispektralen Orthofotos optimal zu identifizieren, wurden testweise drei Vorgehensweisen angewendet:

- Schattenindizierung nach [11]
- Identifikation des Schattens und dessen Unterteilung nach [12]
- automatische Unterteilung des Schattens nach [13]

	Bestimmung	Annahmen
Senkrecht unter der überhängenden Vegetation	Direkte Kartierung der Bestockung (> 2 m) entlang der Gewässer	Die Bereiche senkrecht unter der Bestockung werden während des ganzen Tagesverlaufs zu 100% als beschattet interpretiert
Seitlicher Schattenwurf durch Vegetation bzw. die Topografie	Direkte Kartierung der Schatten auf dem Gewässer in den Orthofotos	Keine, da direkt aus den Bildern hergeleitet. Die einzige Beschränkung ist die Auflösung der Daten

Tab. 2 Vergleich der beiden Arten zur Schattenbestimmung in den multispektralen Orthofotos der Drohnenflüge.

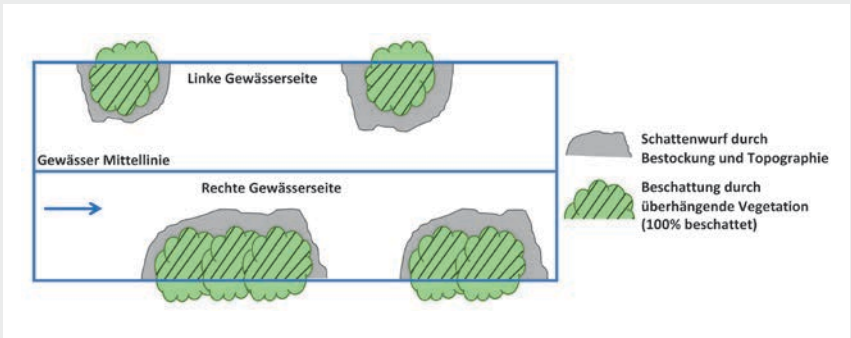


Fig. 2 Vereinfachte Darstellung der Schattensituation bei einem Fließgewässer. Die Situation wurde auf zwei unterschiedlich definierte Schattenarten (seitlicher Schattenwurf, Schatten durch überhängende Vegetation) reduziert, da in der Realität der Verlauf des Schattens und auch dessen Ausbildung (z. B. Streuung durch lichtetes Laub) zu vielfältige und damit komplexe Ausbildungen aufweist, die durch Fernerkundungen nicht erfasst werden können.

Die drei Ansätze verwenden Sättigungsindizes, Farbtintensitäten, Helligkeit und Farbelemente der Schattenbereiche. Leider waren diese Ansätze nicht optimal für die Situation des Testgebietes. Störend wirkten sich im Glattal der heterogene Informationsanfall aufgrund der hohen räumlichen Auflösung, die unterschiedlichsten Landnutzungen, aber spektral ähnlichen Oberflächeneigenschaften sowie das Durchschimmern von Unterwasserstrukturen aus. Zudem führten die Heterogenität und die Besonderheit des Untersuchungsgebietes zu individuellen Ausprägungen der jeweiligen beschatteten Flächen. So weisen bspw. die Unterwasserpflanzen (Makrophyten und Algen), die in diesem Fließgewässerabschnitt häufig vorkommen, die gleiche Spektralsignatur auf wie die beschatteten Bereiche an der Uferböschung und den Steinen. Dies führte zu falschen Zuordnungen der beschatteten Bereiche bei rein automatisierten Überarbeitungen der Orthofotos. Um die Qualität der Zuordnungen zu verbessern, mussten deshalb die Auswertungen in intensiver Detailarbeit direkt am Bildschirm sowie unter Verwendung der Intensitätswerte nach [11] ausgeführt werden. Dieses Vorgehen war zwar sehr zeitintensiv, führte aber zur gewünschten Qualität der Aus-

wertungen und wurde daher auch für alle weiteren Auswertungen verwendet. Im nächsten Arbeitsschritt wurden die

bearbeiteten multispektralen Orthofotos der Drohnenflüge und das daraus abgeleitete Höhenmodell verwendet, um Bestockungen > 2 m zu identifizieren. Diese Flächen wurden als schattenspendende Bestockung definiert und den beschatteten Bereichen zugerechnet.

In einem letzten Schritt wurden die räumlichen und zeitlichen Veränderungen der beschatteten Bereiche quantifiziert:

- Anteil des gesamten Schattenwurfs durch Bestockung und Topografie relativ zur Gewässerfläche des gesamten Untersuchungsgebietes.
- Anteil des Schattenwurfs durch Bestockung und Topografie auf der linken und rechten Gewässerseite (Fig. 2) im Vergleich zur jeweiligen Gewässerfläche des Untersuchungsgebietes auf der rechten und linken Seite.
- Anteil der Beschattung durch die überhängende Vegetation.
- Vergleich der Beschattungsergebnisse, die von den Drohnenaufnahmen der ZHAW und den Feldbegehungen von Fischwerk hergeleitet wurden.

Figur 3 zeigt mit zwei Aufnahmen die schnelle flächenmässige Veränderung des Schattenwurfs innerhalb einer halben Stunde. Auf der Basis der hochauf-

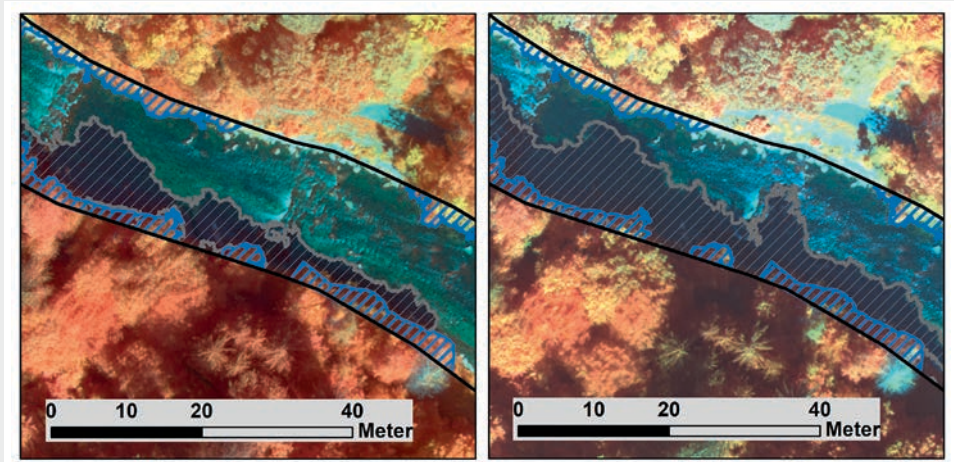


Fig. 3 Darstellung der Schattenbestimmung entlang eines Gewässerabschnittes des Untersuchungsgebietes anhand zweier Orthofotos vom 21.8.18: um 12.13 Uhr (links) und um 12.49 Uhr (rechts). Die grau gestreiften Flächen stellen den Schattenwurf dar, der durch Topografie und Bestockung entsteht. Die blau gestreiften Flächen sind die Schattenbereiche, die durch die überhängende Vegetation (Projektion senkrecht nach unten) entstehen. Die Zusammenlegung der beiden Flächen stellt den gesamten beschatteten Bereich über der Gewässeroberfläche dar.

	Vormittag	Mittag	Nachmittag
Schattenwurf	~80%	~20%	~70%
Überhängende Vegetation	~10%	~10%	~10%
Gesamtschatten	~90%	~30%	~80%

Tab. 3 Anteile der beiden Schattenkomponenten (s. Fig. 2) an der gesamten Wasseroberfläche.

gelösten Drohnenaufnahmen kann zudem die räumliche Verteilung der Beschattung im Tagesablauf genau quantifiziert werden (Tab. 3).

Aus dem Vergleich in *Figur 3* und *Tabelle 3* lassen sich für das Glatt-System bei Rheinsfelden folgende Schlüsse ziehen:

- Der Schattenanteil der überhängenden Vegetation ist im Verhältnis zur Gesamtschattungs während eines Tages sehr gering. Sie weist nur über Mittag eine gewisse Relevanz auf.
- Die Beschattungssituation durch den Schattenwurf verändert sich räumlich-zeitlich sehr schnell. Dagegen ist die Beschattung unter der überhängenden Vegetation relativ stabil (unter Vorbehalt der Annahme in Tab. 2).
- Im Zeitfenster mit hohen Lufttemperaturen und einer senkrecht einstrahlenden Sonne ist der Schattenwurf und daher auch der Gesamtschatten am geringsten. Für kälteliebende Organismen werden daher adäquate Rückzugsmöglichkeiten zunehmend wichtig werden.
- Der Einfluss der topografischen Verhältnisse wie auch die Form und Höhe der Bestockung auf die Schattenausbildung ist sehr gross.
- Wegen der Lage des Gewässers der Glatt in diesem Abschnitt ist die rechte Gewässershälfte morgens stärker beschattet als

die linke. Am Nachmittag erfolgt ein Wechsel, und die Beschattungsverhältnisse werden auf der linken Seite stärker ausgeprägt.

- Für eine vergleichbare Gesamtschattungsklassifikation anhand von Luftaufnahmen muss das Zeitfenster bei Datenerhebungen im Feld möglichst eng (<30 min) und identisch sein.

METHODENVERGLEICHE

MULTISPEKTRALANALYSEN UND FELDBEGEHUNGEN

Beschattung

Wie bereits beschrieben, wurden entlang des Untersuchungsgebietes der Glatt (*Fig. 1* im Leitartikel «Temperaturmonitoring Oberflächengewässer Schweiz», S. 37) mit Felddaten vier Kategorien von 0–25%, 25–50%, 50–75% und 75–100% Beschattung ausgeschieden. Zum Vergleich waren an diesem ausgewählten Abschnitt der Glatt Drohnenflüge mit Multispektralaufnahmen im Einsatz. Beide Erhebungen wurden in ähnlichen Zeitfenstern (ca. 9.00, 12.30, 15.30 Uhr) durchgeführt. Die Daten der Drohnenflüge wurden flächendeckend in einer hohen Auflösung erhoben und konnten daher den durch die Feldbegehung kartierten Abschnitten angepasst werden, um einen direkten Vergleich der beiden Methoden zu ermöglichen (*Fig. 4*).

Wie auf *Figur 4* gut zu erkennen ist, besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden methodischen Ansätzen. Dies ist einerseits auf die eher grobe Unterteilung in vier Kategorien zurückzuführen. Andererseits spricht es für die Qualität der Methoden und deren zeitnahen Ausführung.

Zieht man in Betracht, dass der Schattenwurf relativ schnell wandert (wenige Minuten, vgl. *Fig. 3*) und die beiden Untersuchungen nicht am gleichen Tag und auch nicht zum genau gleichen Zeitpunkt durchgeführt wurden, scheint diese Systematisierung auf vier Kategorien relativ robust zu sein. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Drohnenaufnahme rund 12 Minuten Zeit benötigte, die Felddaten entlang diesem Teilstück der Glatt (ca. 1 km) aber rund eine Stunde dauerte. Daher wird davon ausgegangen, dass die Genauigkeit der quantitativen Schattenerfassung innerhalb eines eng begrenzten Zeitfensters in diesem Fall durch die Drohne präziser und objektiver ausgeführt sein dürfte als die Datenerhebung im Feld.

MULTISPEKTRALANALYSEN UND VEGETATIONSHÖHENMODELL (WSL)

Überhängende Vegetation

Von Interesse war es auch, die Anteile der überhängenden Vegetation anhand der Auswertungen der multispektralen Drohnenflüge und dem Vegetationshöhenmodell der WSL [9] an einem ca. 800 m langen Teilstück der Glatt bei Rheinsfelden zu vergleichen (*Fig. 5*). Für diesen Vergleich wurde die überhängende Vegetation als Vegetation >2 m definiert. Zudem wurde die Gewässerfläche gemäss Bodenbedeckung aus dem *swissTLM3D* bestimmt und lokal angepasst.

Auf dem gesamten Teilstück der Glatt beträgt der Anteil der überhängenden Vegetation gemäss dem Vegetationshöhenmodell der WSL 10,6% der Gewässerfläche. Der von den Drohnenflügen (Multispektralanalysen) bestimmte Anteil liegt bei 10,2%. Die Gesamtfläche mit überhängender Vegetation ist folglich bei beiden Erhebungsmethoden fast identisch. Ein Vergleich der Lage der jeweils ausgeschiedenen Flächen zeigt jedoch grös-

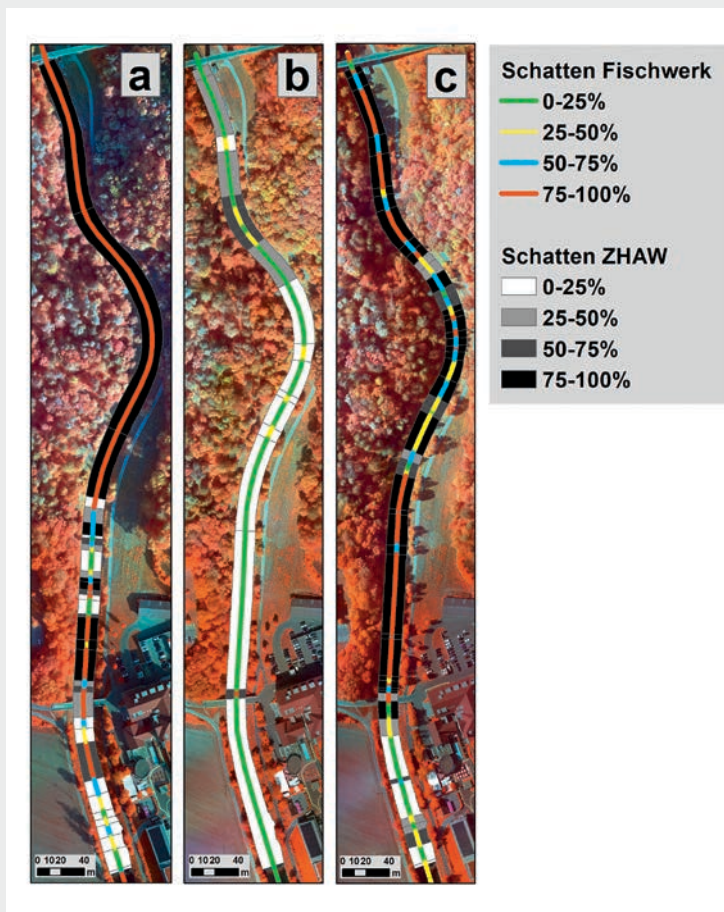


Fig. 4 Ergebnisse der Beschattungsanalysen entlang der Glatt bei Rheinsfelden. Dargestellt sind die Beschattungssituationen der Felddaten (11.8.18) von Fischwerk [8] und der Drohnenaufnahmen (21.8.18) der ZHAW [10] am Morgen ca. 9.00 Uhr (a), am Mittag ca. 12.30 Uhr (b) und am Nachmittag ca. 15.30 Uhr (c). Die Ergebnisse sind gemäss der Legende (0–100%) als farbige Linie (Fischwerk) oder als grau gradierte Flächen (ZHAW) dargestellt. (Karte: NirGB Orthobild vom 21. August 2018, ZHAW)

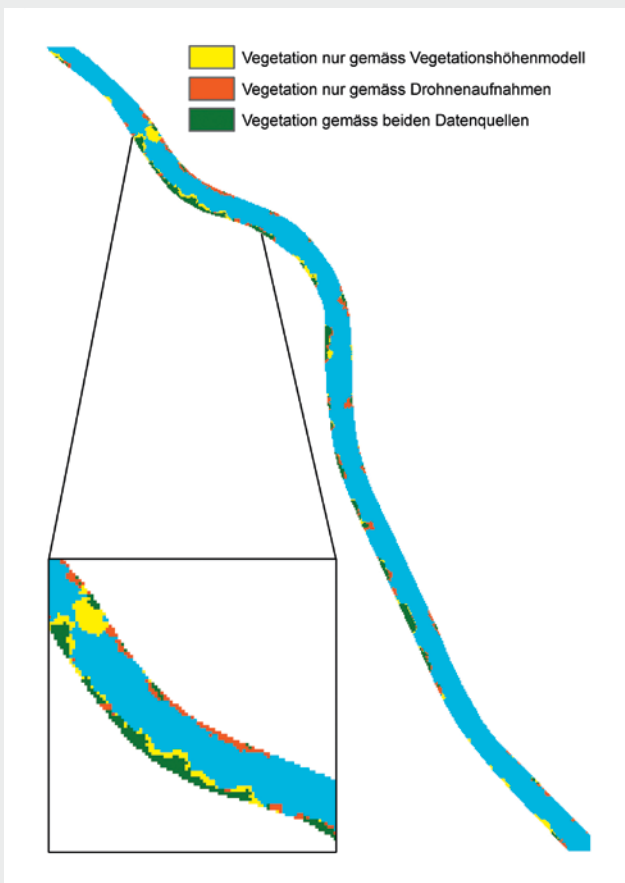


Fig. 5 Darstellung des ca. 800 m langen Gewässerabschnittes der Glatt bei Rheinsfelden (s. Fig. 1 im Leitartikel «Temperaturmonitoring Oberflächengewässer Schweiz», S. 37). Grün: überhängende Vegetation sowohl im Vegetationshöhenmodell der WSL als auch gemäss den Drohnenaufnahmen. Rot: überhängende Vegetation nur gemäss den Drohnenaufnahmen. Gelb: überhängende Vegetation nur gemäss dem Vegetationshöhenmodell. Hellblau: nicht bedeckter Anteil der Gewässeroberfläche.

sere lokale Abweichungen. Nur 42,9% der beiden methodisch unterschiedlich ausgeschiedenen Flächen liegen tatsächlich übereinander. Diese Differenz ist wahrscheinlich auf die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte und Auflösungen (10 cm bei den Drohnenflügen, 2 m im Vegetationshöhenmodell) bzw. weitere Gründe zurückzuführen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERES VORGEHEN

Die dargelegten Zwischenergebnisse zeigen, dass die Bestockung entlang der Fliessgewässer für eine erste schweizweite Übersicht hergeleitet werden kann. Die gesamtschweizerische Berechnung ist für 2019/2020 vorgesehen, sobald die *swissTLM3D*-Daten der *swisstopo* für die ganze Schweiz verfügbar sind.

Dagegen ist die Beschattung als ökologisch wichtiger Parameter anspruchsvoller zu bestimmen. Einerseits weist er eine hohe Veränderungsdynamik (v. a. Schattenwurf) und Vertei-

lung auf. Andererseits sind die Unsicherheitsquellen grösser. Je nach Gewässerlänge kann auf der Basis des Vegetationshöhenmodells eine Annäherung für die überhängende Vegetation erhalten werden. Je kleinräumiger die betrachteten Flächen sind, umso wichtiger ist es, präzise Methoden (Fernerkundung) und möglichst aktuelle Daten zu verwenden. Multispektrale Drohnenaufnahmen und entsprechende Analysen eignen sich sehr gut, um die Beschattung (Schattenwurf und überhängende Vegetation) quantitativ und präzise auf lokaler Ebene zu erfassen. Bei der Beschattung muss eine sinnvolle Klassifikation erstellt werden, damit Gewässer schweizweit verglichen werden können. Sowohl bei Auswertungen von Satellitendaten oder Flugaufnahmen betrifft wie auch die Systematisierung von Beschattungsdaten stehen in naher Zukunft weitere Abklärungen an.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Caissie, D. (2006): The thermal regime of rivers: A review. *Freshwater Biology* 51: 1389–1406
- [2] Rutherford, J.C. et al. (1997): Predicting the effects of shade on water temperature in small streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 31: 707–721
- [3] Rutherford, J.C. et al. (2004): Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool? *Marine and Freshwater Research* 55: 737–748
- [4] La Maison de la Rivière (2012): Rapport Clim-arbres. La Maison de la Rivière, hépia Haute école dupaysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), S. 173
- [5] Bowler, D. et al. (2012): What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence* 1, S. 9
- [6] Johnson, S.L. (2004): Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 913–923
- [7] Broadmeadow, S.B. et al. (2010): The Influence of Riparian Shade on Lowland Stream Water Temperatures in Southern England and Their Viability for Brown trout
- [8] Minck, L. (voraussichtlich 2020): Bestockung und Beschattung der Fliessgewässer. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Fischwerk, in Vorbereitung
- [9] Ginzler, C.; Hobi, M.L. (2016): Das aktuelle Vegetationshöhenmodell der Schweiz: spezifische Anwendungen im Waldbereich, *Schweiz Z Forstwes* 167 3: 128–135
- [10] Tonolla, D. et al. (2019): Characterization of spatio-temporal thermal heterogeneity and riparian shading in the Glatt River using high-resolution thermal infrared and multispectral remote sensing. Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), ZHAW. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/studien.html
- [11] Rikimaru, A. et al. (2002): Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology* 43: 39–47
- [12] Ma, H. et al. (2008): Shadow segmentation and compensation in high-resolution satellite images. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2008. IEEE International*, Vol. 2, pp. II-1036
- [13] Polidoro, A.M. et al. (2003): Automatic shadow segmentation in aerial color images. *Computer Graphics and Image Processing. Proceeding of the XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image processing*: 270–277